

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. August 2002 (15.08.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/063236 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

G01B 7/28

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): AESCULAP AG & CO. KG [DE/DE]; Am Aesculap-Platz, 78532 Tuttlingen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP02/00793

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldeatum:

25. Januar 2002 (25.01.2002)

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): LEITNER, Francois [FR/FR]; Aesculap S.A., 15/17 Chemin de la Capuche, F-38100 Grenoble (FR). MOLLARD, Benoit [FR/FR]; Aesculap S.A., 15/17 Chemin de la Capuche, F-38100 Grenoble (FR). TÜMMLER, Hanns-Peter [DE/DE]; Emminger Strasse 124, 78532 Tuttlingen (DE).

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(74) Anwalt: BÖHME, Ulrich; Hoeger, Stellrecht & Partner, Uhlandstrasse 14 c, 70182 Stuttgart (DE).

(26) Veröffentlichungssprache:

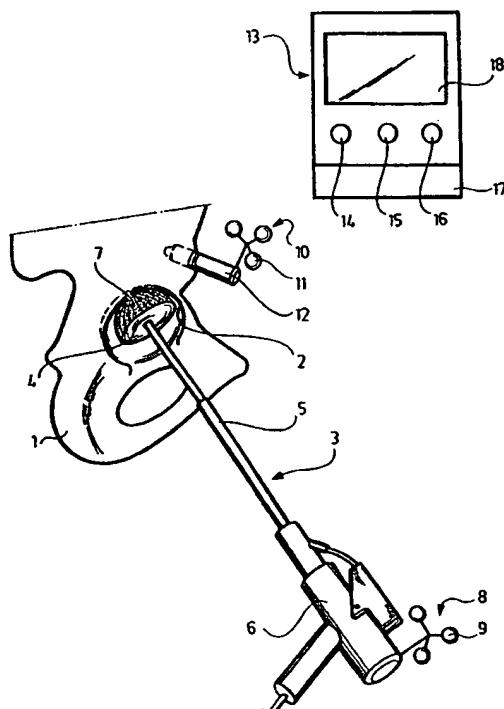
Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING THE CONTOUR OF A RECESS IN A PIECE OF MATERIAL

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG DER KONTUR EINER AUSNEHMUNG IN EINEM MATERIALSTÜCK



WO 02/063236 A2

Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens angegeben.

(57) Abstract: The invention relates to a method for determining the contour of a recess in a piece of material incorporated into said material, particularly inside a bone piece, with the aid of a tool without direct vision of the machining area. According to the invention, the spatial position of the piece of material is established by means of a navigation system and the positioning data thus obtained is used to determine the respective positions of the tool in relation to the piece of material. The relative positions of the tool in relation to the piece of material are stored during the machining of the piece of material by the tool and the shaped contour on the piece of material is determined from the extreme values of said relative positions in relation to a fixed reference position of the piece of material.

(57) Zusammenfassung: Um bei einem Verfahren zur Bestimmung der Kontur einer Ausnehmung in einem Materialstück, die mit Hilfe eines Werkzeuges in das Material eingearbeitet wird, insbesondere in einem Knochenstück, diese Kontur auch ohne direkte Sicht des Bearbeitungsbereiches bestimmen zu können, wird vorgeschlagen, dass man die Lage des Materialstückes im Raum durch ein Navigationssystem feststellt, dass man aus den erlangten Positionen die jeweilige Lage des Werkzeuges relative zu dem Materialstück bestimmt, dass man während der Bearbeitung des Materialstück durch das Werkzeug die relativen Lagen des Werkzeuges relative zum Materialstück speichert und das man aus Extremwerten dieser relativen Lagen bezüglich einer festen Bezugsposition des Materialstückes die ausgearbeitete Kontur am Materialstück bestimmt. Weiterhin wird eine



(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("*Guidance Notes on Codes and Abbreviations*") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG DER KONTUR EINER AUSNEHMUNG IN EINEM MATERIALSTÜCK

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der Kontur einer Ausnehmung in einem Materialstück, die mit Hilfe eines Werkzeuges in das Material eingearbeitet wird, insbesondere in einem Knochenstück.

Es ist in vielfältiger Weise notwendig, in ein Materialstück eine Ausnehmung einer bestimmten Form und Größe einzubringen, beispielsweise in einem Knochenstück, in dem die Ausnehmung zur Aufnahme eines Implantates vorbereitet wird. Dabei ist es wichtig, die vorgegebene Kontur der Ausnehmung zu erreichen und diese vorgegebene Kontur nicht zu überschreiten.

Derartige Ausnehmungen werden in der Regel mit Spezialwerkzeugen hergestellt, beispielsweise mit rotierenden Formfräsern, mit Fingerfräsern, Bohrern oder ähnlichen Werkzeugen, aber auch mit handgeführten Werkzeugen, beispielsweise Messern, Sticheln, Feilen etc. In der Praxis ist es außerordentlich schwierig, in den ausgearbeiteten Ausnehmungen selbst zu erkennen, wie dort die Kontur verläuft, die von dem Werkzeug jeweils hergestellt worden ist. Dies wird einmal durch das abgetragene Material erschwert, zum anderen ist die Ausnehmung häufig schwer oder gar nicht zugänglich und daher nicht beobachtbar. In diesen Fällen ist man auf das Gefühl angewiesen, um die Größe und Form der Ausnehmung so gut wie möglich an die gewünschte Kontur anzupassen.

- 2 -

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren anzugeben, mit dem es möglich ist, die tatsächliche Kontur der mit dem Werkzeug hergestellten Ausnehmung auch dann zu bestimmen, wenn die Ausnehmung nicht unmittelbar beobachtbar ist.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß man die Lage des Materialstückes im Raum durch ein Navigationssystem feststellt, daß man die Lage des Werkzeugs im Raum durch ein Navigationssystem feststellt, daß man aus den derart gewonnenen Positionsdaten die jeweilige Lage des Werkzeugs relativ zu dem Materialstück bestimmt, daß man während der Bearbeitung des Materialstückes durch das Werkzeug die relativen Lagen des Werkzeugs relativ zum Materialstück speichert und daß man aus Extremwerten dieser relativen Lagen bezüglich einer festen Bezugsposition des Materialstückes die ausgearbeitete Kontur am Materialstück bestimmt.

Bei diesem Verfahren wird also zunächst während des gesamten Bearbeitungsvorganges fortlaufend einmal die Lage des Materialstückes und zum anderen die Lage des Werkzeugs im Raum bestimmt. Dies läßt sich dadurch bewerkstelligen, daß ein sogenanntes Navigationssystem eingesetzt wird. Das sind an sich bekannte Systeme, die es ermöglichen, die Lage eines Gegenstandes im Raum genau zu bestimmen. Beispielsweise können sowohl am Materialstück als auch am Werkzeug Markierelemente befestigt werden, beispielsweise drei oder noch mehr Markierelemente, die als Sender oder Reflektor für eine elektromagnetische Strahlung dienen und die von einem ortsfesten Navigationssystem ausgesandte elektromagnetische Strahlung reflek-

- 3 -

tieren und an das Navigationssystem zurücksenden bzw. eine solche Strahlung aussenden und an das Navigationssystem übermitteln. Aus den Laufzeitunterschieden der über mehrere Sender und Empfänger übermittelten Strahlung lassen sich die genauen Positionen der verschiedenen Markierelemente an dem Materialstück bzw. am Werkzeug bestimmen, und daraus kann die exakte Lage des Materialstückes und des Werkzeuges bestimmt werden.

Diese Positionsdaten ermöglichen es auch, die Relativposition des Werkzeuges und des Materialstückes zu bestimmen. Das Werkzeug hat dabei eine bestimmte Geometrie der bearbeitenden Bereiche, beispielsweise eines halbkugelförmigen Formfräzers, und diese Geometrie ist relativ zu dem am Werkzeug befestigten Markierelement immer gleich. Aus der Lagebestimmung des Markierelementes ist es also möglich, die Lage der bearbeitenden Fläche des Werkzeuges relativ zum zu bearbeitenden Materialstück zu bestimmen, und zwar fortlaufend während des gesamten Bearbeitungsvorganges.

Diese Positionsdaten, die die relative Lage von Werkzeug und Materialstück angeben, werden über den gesamten Bearbeitungsvorgang gespeichert. Aus diesen Daten können extreme Lagen des Werkzeuges relativ zum Materialstück bestimmt werden, und zwar relativ zu einer festen Position des Materialstückes. Mit anderen Worten kann beispielsweise ausgehend von einem festen Punkt des Materialstückes in einer bestimmten Richtung bestimmt werden, wann die zu bearbeitende Fläche des Werkzeuges einen maximalen Abstand von diesem Punkt gehabt hat. Dieser Abstand entspricht dann der tatsächlich in das Materialstück eingearbeiteten Kontur einer Ausnehmung, denn das Werk-

- 4 -

zeug bearbeitet das Material des Materialstückes immer bis zu dieser extremen Lage. Wenn der Abstand von dem festen Punkt geringer ist, berührt die bearbeitende Fläche des Werkzeuges das Material des Materialstückes nicht und entfernt auch kein Material.

Eine solche Bestimmung kann in unterschiedlichen Richtungen ausgehend von der festen Bezugsposition erfolgen, und auf diese Weise erhält man über die gesamte Oberfläche der eingearbeiteten Ausnehmung Informationen darüber, wo tatsächlich die Grenzfläche zwischen Ausnehmung und Material verläuft, wie weit also das Werkzeug jeweils Material aus dem Materialstück entfernt hat.

Diese Daten ermöglichen es dem Bearbeiter, genaue Informationen über die jeweilige Lage und Größe der Ausnehmung zu erhalten, auch wenn er die Ausnehmung selbst nicht beobachten kann.

Es ist dabei vorteilhaft, wenn man die Differenz der in dieser Weise bestimmten Kontur der ausgearbeiteten Ausnehmung relativ zu einer vorgegebenen Kontur an verschiedenen Stellen der Kontur bestimmt.

Bei diesem Verfahren geht man aus von einer gewünschten Kontur der Ausnehmung, deren Positionsdaten relativ zum Materialstück ebenfalls gespeichert werden können, diese Positionsdaten der gewünschten Kontur werden laufend mit den Positionsdaten der tatsächlich erarbeiteten Kontur der Ausnehmung verglichen und zeigen, ob noch Material entfernt werden muß, um die gewünschte Kontur zu erreichen, ob die gewünschte Kontur bereits erreicht ist oder ob die gewünschte Kontur tatsächlich überschritten worden ist.

- 5 -

Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß man die derart bestimmten Differenzen an verschiedenen Stellen der ausgearbeiteten Ausnehmung sichtbar darstellt, wobei es vorteilhaft ist, wenn man gleiche Differenzen an verschiedenen Stellen der ausgearbeiteten Ausnehmung in gleicher Weise darstellt, insbesondere in gleicher Farbe. Der Bearbeiter kann daher an einer solchen Darstellung unmittelbar ablesen, in welchen Bereichen der Ausnehmung noch eine Bearbeitung notwendig ist, um die gewünschte Kontur zu erreichen, in welchen Bereichen diese bereits erreicht ist, und in welchen Bereichen eventuell eine Überschreitung der gewünschten Kontur vorliegt.

Es ist auch vorteilhaft, wenn man der Abbildung der Kontur der Ausnehmung oder der festgestellten Differenz eine Abbildung des Materialstückes überlagert. Diese Abbildung kann dem Bearbeiter Auskunft über die Umgebung der Ausnehmung geben, so daß der Bearbeiter genau feststellen kann, in welchem Bereich des Materialstückes er arbeitet und ob er gegebenenfalls in Strukturen des Materialstückes eingreift, die nicht von der Ausnehmung erreicht werden sollen.

Insbesondere kann vorgesehen sein, daß man aus den bestimmten Extremwerten der relativen Lage ein Warnsignal erzeugt, wenn die Extremwerte bestimmte vorgegebene Maximalwerte überschreiten, wenn also die tatsächlich ausgearbeitete Ausnehmung in Bereiche des Materialstückes vorzudringen droht, in die ein Vordringen nicht gewünscht wird. Dies kann beispielsweise von Bedeutung sein, wenn in einen Knochen eine Ausnehmung zur Aufnahme eines Implantates eingearbeitet wird und wenn sichergestellt werden soll, daß diese Ausnehmung eine

- 6 -

bestimmte Größe nicht überschreitet, etwa um ein Durchbrechen des Knochens an der Stelle der Ausnehmung zu verhindern.

Der Erfindung liegt auch die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Bestimmung der Kontur einer Ausnehmung in einem Materialstück mit einem Werkzeug zur Einarbeitung der Ausnehmung in das Materialstück vorzuschlagen, mit welcher der Bearbeiter in die Lage versetzt wird, die Kontur der bearbeiteten Ausnehmung zu überwachen.

Diese Aufgabe wird bei einer Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß das Materialstück und das Werkzeug jeweils fest mit einem Markierelement verbunden sind, daß ein ortsfestes Navigationssystem vorgesehen ist, welches die Position der beiden Markierelemente und damit die Position des Materialstückes und des Werkzeuges im Raum erfaßt, und daß eine Recheneinheit mit Speicher vorgesehen ist, die aus den derart gewonnenen Positionsdaten die jeweilige Lage des Werkzeuges relativ zu dem Materialstück bestimmt, die weiterhin während der Bearbeitung des Materialstückes durch das Werkzeug die relativen Lagen des Werkzeuges relativ zum Materialstück speichert und die aus Extremwerten dieser relativen Lagen bezüglich einer festen Bezugsposition des Materialstückes die ausgearbeitete Kontur am Materialstück bestimmt.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtungen sind Gegenstand von Unteransprüchen.

- 7 -

Die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung dient im Zusammenhang mit der Zeichnung der näheren Erläuterung. Es zeigen:

Figur 1: die Bearbeitung eines Materialstückes in Form eines Hüftknochens mit einem Fräswerkzeug unter Verwendung eines Navigationssystems;

Figur 2: eine Schnittansicht durch eine pfannenförmige Ausnehmung in einem Hüftknochen;

Figur 3: eine Ansicht ähnlich Figur 2 mit strichpunktiert dargestellten Fräswerkzeugen und

Figur 4: eine Bildschirmdarstellung einer pfannenförmigen Ausnehmung mit Darstellung unterschiedlich tief abgetragener Wandbereiche.

Die Erfindung wird nachstehend am Beispiel eines Hüftknochens 1 erörtert, in den eine etwa halbkugelige, pfannenförmige Ausnehmung 2 eingearbeitet werden soll, die der Aufnahme einer etwa halbkugeligen Pfanne eines Hüftgelenkimplantates dient, dieses Implantat ist in der Zeichnung nicht dargestellt. Die Erfindung ist besonders vorteilhaft anwendbar bei der Herstellung von Ausnehmungen in Knochenmaterial zu chirurgischen Zwecken, die Erfindung ist aber ohne weiteres auch verwendbar bei anderen Materialstücken, beispielsweise auch bei der Formgebung von Implantaten aus Knochenmaterial oder anderen Materialien selbst und daher nicht beschränkt auf die Bearbeitung von

- 8 -

Materialstücken des menschlichen oder tierischen Körpers, wenn auch in diesem Bereich ein besonders vorteilhaftes Einsatzgebiet liegt.

Um in den Hüftknochen die pfannenförmige Ausnehmung 2 einarbeiten zu können, wird ein Werkzeug 3 verwendet, welches einen etwa halbkugelförmigen Formfräser 4 verwendet, der über eine starre Welle 5 mit einem Antriebsmotor verbunden ist, der in einem handgriffartigen Gehäuse 6 des Werkzeuges 3 aufgenommen ist. Durch den Antrieb wird die Welle 5 in Drehung versetzt und verdreht dabei den Formfräser 4 so, daß die halbkugelige Frässtufe 7 des Formfräzers 4 in sich verdreht wird.

Das Werkzeug 3 trägt ein starr mit dem Gehäuse 6 verbundenes Markierelement 8 mit drei im Abstand zueinander angeordneten kugelförmigen Reflexionskörpern 9, ein gleichartiges Markierelement 10 mit ebenfalls drei im Abstand zueinander angeordneten Reflexionskörpern 11 ist mittels einer in den Hüftknochen 1 eingeschraubten Knochenschraube 12 starr mit diesem verbunden.

Ortsfest im Raum ist ein Navigationssystem 13 angeordnet, welches im dargestellten Ausführungsbeispiel drei Strahlungssender und -empfänger 14, 15, 16 aufweist, die beispielsweise eine Ultrarotstrahlung abstrahlen und diese nach Reflexion an den Reflexionskörpern 9 bzw. 11 wieder empfangen. Die Laufzeiten der Strahlung zwischen den Strahlungssendern und -empfängern 14, 15, 16 und den Reflexionskörpern 9 bzw. 11 der Markierelemente 8 und 10 wird in einer Rechen- und Speichereinheit 17 des Navigationssystems 13 bestimmt, und daraus können die genauen Positionen der Markierelemente 8 und 10 im

- 9 -

Raum bestimmt werden, und diese Positionen sind eindeutig verbunden mit den Positionen des Hüftknochens 1 und des Werkzeuges 3 im Raum. Auf diese Weise kann das Navigationssystem 13 die exakte Positionierung sowohl des Hüftknochens 1 als auch des Werkzeuges 3 im Raum während des gesamten Bearbeitungsvorganges fortwährend feststellen.

Diesen jeweiligen Positionen des Hüftknochens 1 und des Werkzeuges 3 entsprechende Positionsdaten werden in der Rechen- und Speicher- einheit 17 gespeichert, so daß nach Abschluß des Bearbeitungsvor- ganges die gesamte Bewegung des Hüftknochens 1 und des Werkzeuges 3 während des Bearbeitungsvorganges rekonstruierbar ist.

Außerdem werden in der Rechen- und Speichereinheit 17 die Positions- daten des Hüftknochens 1 und des Werkzeuges 3 miteinander verglichen, und daraus wird berechnet, wo sich die Fräsfäche 7 des Werk- zeuges 3 während der Bearbeitung relativ zum Hüftknochen 1 jeweils befindet. Da das Werkzeug 3 ein starrer Körper ist und da sich die Fräsfäche 7 bei der Drehung der starren Welle 5 in sich verdreht, bleibt die Einhüllende, die durch die Fräsfäche 7 gebildet wird, relativ zum übrigen Werkzeug 3 immer gleich und damit auch relativ zu dem entsprechenden Markierelement 8. Es ist daher ohne weiteres möglich, während des gesamten Bearbeitungsvorgangs die genaue Lage dieser einhüllenden Fräsfäche 7 zu bestimmen und sie in Beziehung zu bringen zu den Positionsdaten des Hüftknochens 1, welche über die Positi- on des Markierelementes 10 erhalten werden.

- 10 -

Der Rechen- und Speichereinheit werden außerdem geometrische Daten des Hüftknochens 1 zur Verfügung gestellt, die beispielsweise durch eine Computertomographieaufnahme des Hüftknochens 1 erhalten werden und die die Form des Hüftknochens 1 beschreiben. Auf diese Weise kann die Rechen- und Speichereinheit 17 auch ausrechnen, ob die einhüllende Fräsfäche 7 in die Kontur des Hüftknochens 1 eindringt, wo dies exakt passiert und wie stark. Es wird also mit anderen Worten bestimmt, welcher Teil der Fräsfäche 7 die Außenkontur des Hüftknochens 1 durchdrungen hat. Dies ist ein Maß dafür, in welchem Bereich und in welchem Maße durch die Fräsfäche 7 Material aus dem Hüftknochen 1 entfernt worden ist, in diesem Bereich hat der Formfräser 4 eine Ausnehmung erzeugt.

Die Rechen- und Speichereinheit berechnet dieses Eindringen der Fräsfäche 7 in die Kontur des Hüftknochens 1 während des gesamten Bearbeitungsvorganges und speichert diese Daten. Gleichzeitig werden Extremwerte dieses Eindringens festgestellt, also die Positionsdaten, die dem weitesten Eindringen der Fräsfäche 7 in die Kontur des Hüftknochens 1 entsprechen. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, daß ausgehend von einem fest angenommenen Punkt im Hüftknochen 1, insbesondere vom Mittelpunkt einer gewünschten halbkugeligen Ausnehmung 2 ausgehend, nach verschiedenen Richtungen die Abstände bestimmt werden, die die Fräsfäche 7 des Formfräzers 4 maximal erreicht hat. Erfäßt man diese Extremwerte in unterschiedlichen Richtungen über die gesamte Erstreckung der gewünschten Ausnehmung, so erhält man Positionsdaten, die die tatsächliche Grenzwand der erzeugten Ausnehmung 2 im Hüftknochen 1 angeben, also die tatsächliche Kontur der Ausnehmung 2.

- 11 -

Die so in der Rechen- und Speichereinheit 17 gewonnenen Positionsdaten der tatsächlichen Kontur der Ausnehmung 2 können auf einem Bildschirm 18 des Navigationssystems 13 sichtbar gemacht werden, so daß der Bearbeiter unmittelbar an dem Bildschirm 18 ablesen kann, wie weit der Formfräser 4 in den Hüftknochen 1 eingedrungen ist und welche Form die Ausnehmung 2 exakt hat.

Es sind hier verschiedene Darstellungsmöglichkeiten gegeben, beispielsweise könnten die jeweils erreichten Tiefen der Ausnehmung 2 in einer Schnittansicht unmittelbar auf dem Bildschirm angezeigt werden, wobei die Schnittebenen variiert werden könnten. Es ist auch möglich, die Darstellung der Ausnehmung mit einer Abbildung des Hüftknochens zu überlagern, die aufgrund vorangehender Computertomographieaufnahmen gewonnen worden sind und in der Rechen- und Speichereinheit abgelegt sind. Auf diese Weise kann der Operateur direkt an einem Bild des Hüftknochens 1 erkennen, wo und wie die Ausnehmung 2 vom Formfräser 4 erzeugt wird.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Positionsdaten einer gewünschten Kontur der Ausnehmung 2 vorherbestimmt und in der Rechen- und Speichereinheit abgelegt. Beispielsweise kann diese gewünschte Kontur eine halbkugelförmige Kontur 19 sein, wie sie in der Schnittansicht der Figur 2 schematisch dargestellt ist. Bis zu dieser gewünschten Kontur 19 soll die Ausnehmung 2 von dem Formfräser 4 bearbeitet werden.

- 12 -

Dazu wird das Material des Hüftknochens 1 in konzentrische Schichten unterteilt, in Figur 2 sind dazu lediglich eine innenliegende Schicht 20 und eine außenliegende Schicht 21 angedeutet, die auf gegenüberliegenden Seiten der gewünschten Kontur 19 angeordnet sind.

Durch die Rechen- und Speichereinheit 17 wird über die gesamte Fläche der Ausnehmung 2 jeweils bestimmt, ob die tatsächlich von dem Formfräser 4 erzeugte Kontur innerhalb der innenliegenden Schicht 20, auf der gewünschten Kontur 19 oder in der außenliegenden Schicht 21 liegt, und in einer Ansicht 22 der kugelförmigen Ausnehmung 2, die zweidimensional oder auch dreidimensional gestaltet sein kann, werden die unterschiedlichen Bereiche unterschiedlich gekennzeichnet dargestellt, beispielsweise mit unterschiedlichen Farben. So werden Bereiche, in denen der Formfräser 4 die innenliegende Schicht 20 noch nicht erreicht hat, beispielsweise in der Ansicht 22 durch ein farbloses Gebiet 23 charakterisiert, Bereiche, in denen die Fräsfäche 7 bis in die innenliegende Schicht 20 vorgedrungen ist, durch ein grünes Gebiet 24 und Bereiche, in denen die Fräsfäche 7 die außenliegende Schicht 21 erreicht hat oder in diese eingedrungen ist, durch ein rotes Gebiet 25. Der Operateur kann daher an der Ansicht 22 sofort erkennen, wo im Bereich der dargestellten Ausnehmung 2 sich bei der Bearbeitung etwas ändert, dies ist ein Zeichen dafür, daß genau in diesem Bereich eine Bearbeitung und Vertiefung der Ausnehmung 2 erfolgt, außerdem kann er aber auch ablesen, ob sich die Fräsfäche 7 in dem gerade bearbeiteten Gebiet noch außerhalb der innenliegenden Schicht 20, bereits innerhalb der innenliegenden Schicht 20 oder gar bereits in der außenliegenden Schicht 21 befindet, dementsprechend kann das Werkzeug 3 unterschiedlich geführt werden, so daß die Ausnehmung 2 so

- 13 -

bearbeitet werden kann, daß die tatsächliche Ausnehmung 2 nach Beendigung des Bearbeitungsvorganges optimal an die gewünschte Kontur 19 angepaßt ist.

Bei der Darstellung der Figur 4 ist neben der Ansicht 22 auch noch die jeweilige Dicke der Schichten 20 und 21 in einer neben der Ansicht 22 angeordneten Skala 26 angegeben, tatsächlich kann natürlich die Zahl der entsprechenden Schichten auch wesentlich höher sein, so daß ein sehr feinfühliges Abarbeiten des Materials möglich wird.

Durch die in der Rechen- und Speichereinheit 17 gespeicherten Positionsdaten kann gleichzeitig ein Protokoll des Bearbeitungsvorganges erstellt werden, so daß nach Abschluß der Bearbeitung des Hüftknochens 1 genau festgestellt werden kann, wie das Werkzeug 3 während des Bearbeitungsvorganges geführt worden ist und ob die Ausnehmung 2 insgesamt der gewünschten Kontur 19 entspricht.

Die jeweils festgestellten Positionsdaten des Formfräzers 4 können auch dazu verwendet werden, ein unbeabsichtigte, zu tiefes Eindringen des Formfräzers 4 in den Hüftknochen 1 zu verhindern, es können hier Grenzwerte für das Eindringen festgelegt werden, falls diese in irgend einem Gebiet der Ausnehmung 2 erreicht werden, kann ein Warnsignal oder ein Abschaltsignal erzeugt werden.

Durch das beschriebene Verfahren ist es möglich, auch unwillkürliche und in der Praxis nicht zu vermeidende Abweichbewegungen des Formfräzers 4 bei der Bearbeitung zu kontrollieren, zu protokollieren und gegebenenfalls auszugleichen, da der Benutzer auf dem Bildschirm 18

- 14 -

den Fortgang des Bearbeitungsvorganges genau verfolgen und das Werkzeug 3 abhängig vom Fortgang des Bearbeitungsvorganges führen kann. Dies ist möglich, obwohl ein direkter Sichtzugang zur Bearbeitungsstelle fehlt, es ist auch nicht notwendig, eine solche Sicht über Röntgenstrahlbeobachtung herzustellen.

- 15 -

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Bestimmung der Kontur einer Ausnehmung in einem Materialstück, die mit Hilfe eines Werkzeuges in das Material eingearbeitet wird, insbesondere in einem Knochenstück, dadurch gekennzeichnet, daß man die Lage des Materialstückes im Raum durch ein Navigationssystem feststellt, daß man die Lage des Werkzeuges im Raum durch ein Navigationssystem feststellt, daß man aus den derart gewonnenen Positionsdaten die jeweilige Lage des Werkzeuges relativ zu dem Materialstück bestimmt, daß man während der Bearbeitung des Materialstückes durch das Werkzeug die relativen Lagen des Werkzeuges relativ zum Materialstück speichert und daß man aus Extremwerten dieser relativen Lagen bezüglich einer festen Bezugsposition des Materialstückes die ausgearbeitete Kontur am Materialstück bestimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man die ausgearbeitete Kontur sichtbar darstellt.

- 16 -

3. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß man die Differenz der in dieser Weise bestimmten Kontur der ausgearbeiteten Ausnehmung relativ zu einer vorgegebenen Kontur an verschiedenen Stellen der Kontur bestimmt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß man die derart bestimmten Differenzen an verschiedenen Stellen der ausgearbeiteten Ausnehmung sichtbar darstellt.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß man gleiche Differenzen an verschiedenen Stellen der ausgearbeiteten Ausnehmung in gleicher Weise darstellt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß man gleiche Differenzen in gleicher Farbe anzeigt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 2, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß man der Abbildung der Kontur der Ausnehmung oder der festgestellten Differenz eine Abbildung des Materialstückes überlagert.

- 17 -

8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß man aus den bestimmten Extremwerten der relativen Lage ein Warnsignal erzeugt, wenn diese Extremwerte bestimmte vorgegebene Maximalwerte überschreiten.
9. Vorrichtung zur Bestimmung der Kontur einer Ausnehmung in einem Materialstück mit einem Werkzeug zur Einarbeitung der Ausnehmung in das Materialstück, dadurch gekennzeichnet, daß das Materialstück (1) und das Werkzeug (3) jeweils fest mit einem Markierelement (10 bzw. 8) verbunden sind, daß ein ortsfestes Navigationssystem (13) vorgesehen ist, welches die Position der beiden Markierelemente (10; 8) und damit die Position des Materialstückes (1) und des Werkzeuges (3) im Raum erfaßt, daß eine Recheneinheit mit Speicher (17) vorgesehen ist, die aus den derart gewonnenen Positionsdaten die jeweilige Lage des Werkzeuges (3) relativ zu dem Materialstück (1) bestimmt, die während der Bearbeitung des Materialstückes (1) durch das Werkzeug (3) die relativen Lagen des Werkzeuges (3) relativ zum Materialstück (1) speichert und die aus Extremwerten dieser relativen Lagen bezüglich einer festen Bezugsposition des Materialstückes (1) die ausgearbeitete Kontur am Materialstück (1) bestimmt.
10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein Sichtgerät (18) vorgesehen ist, welches die ausgearbeitete Kontur sichtbar darstellt.

- 18 -

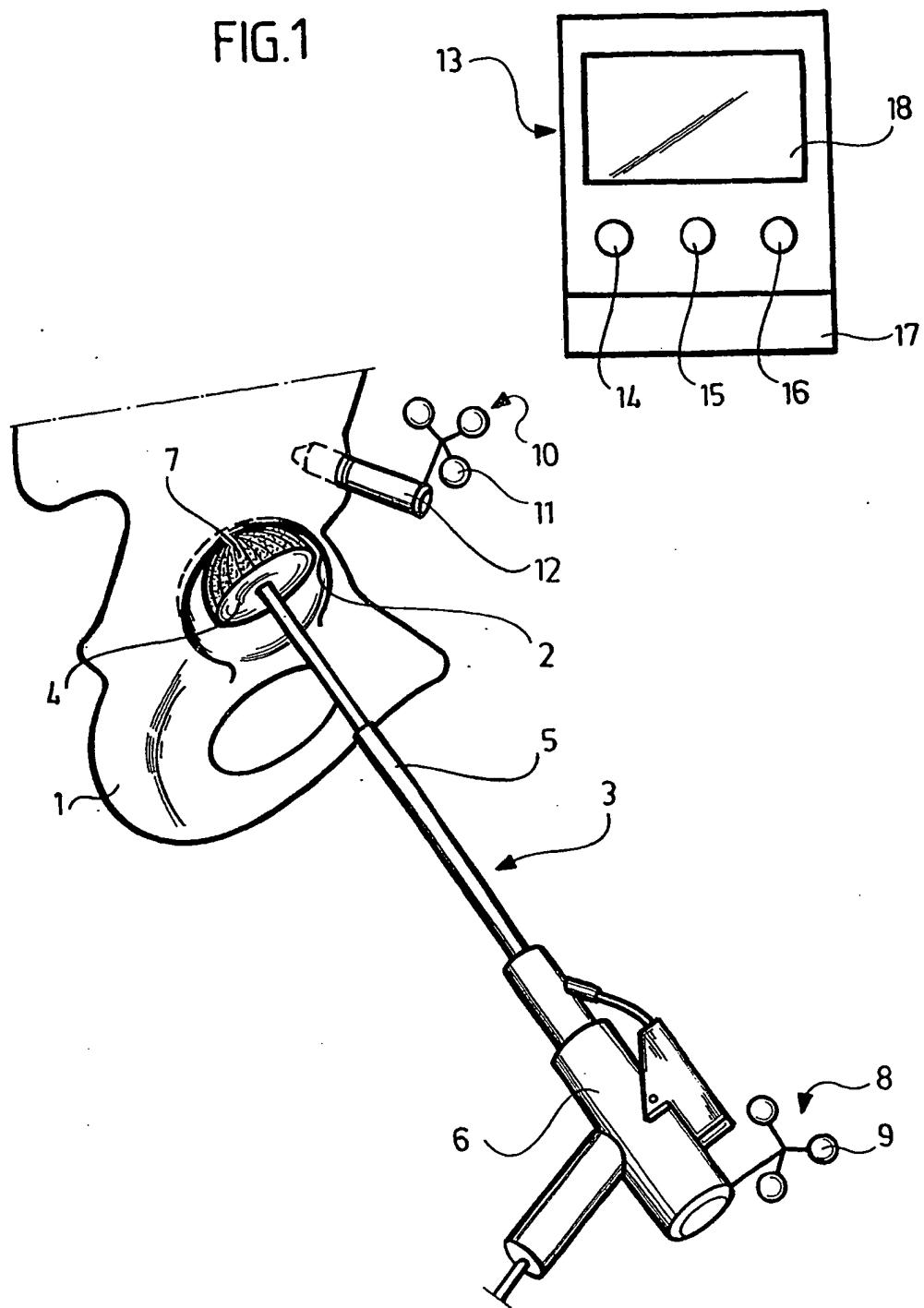
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Recheneinheit mit Speicher (17) die Differenz der in dieser Weise bestimmten Kontur der ausgearbeiteten Ausnehmung (2) relativ zu einer vorgegebenen Kontur (19) an verschiedenen Stellen der Kontur bestimmt.
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Recheneinheit mit Speicher (17) die derart bestimmten Differenzen an verschiedenen Stellen der ausgearbeiteten Ausnehmung (2) sichtbar darstellt.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Recheneinheit mit Speicher (17) gleiche Differenzen an verschiedenen Stellen der ausgearbeiteten Ausnehmung (2) in gleicher Weise darstellt.
14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Recheneinheit mit Speicher (17) gleiche Differenzen in gleicher Farbe anzeigt.

- 19 -

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Recheneinheit mit Speicher (17) der Abbildung der Kontur der Ausnehmung (2) oder der festgestellten Differenz eine Abbildung des Materialstückes (1) überlagert.
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Recheneinheit mit Speicher (17) aus den bestimmten Extremwerten der relativen Lage ein Warnsignal erzeugt, wenn diese Extremwerte bestimmte vorgegebene Maximalwerte überschreiten.

1/3

FIG.1



2/3

FIG.2

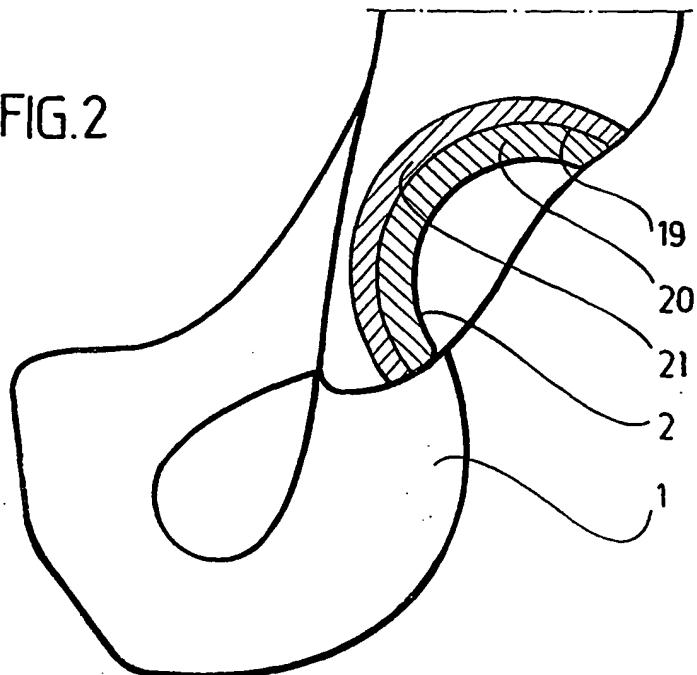
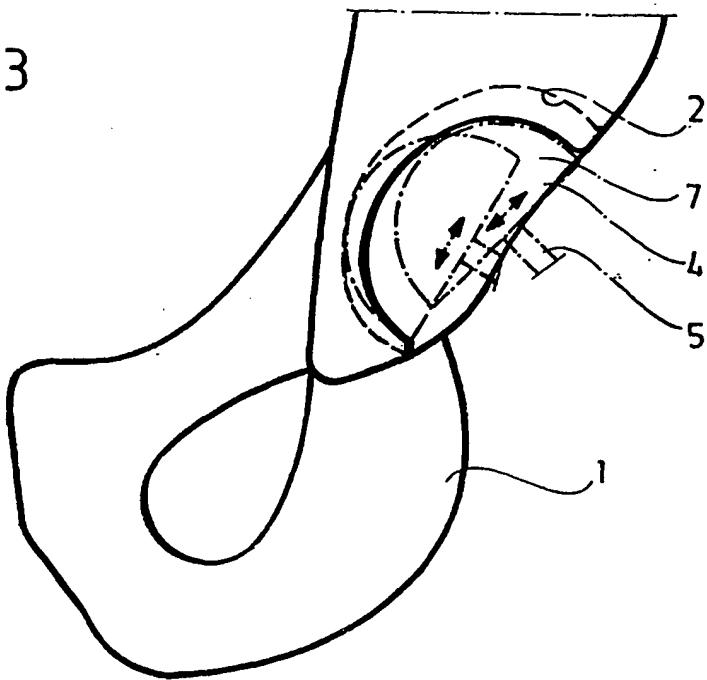


FIG.3



3/3

FIG.4

